

ANALISIS KADAR LOGAM BERAT TIMBAL DI MATA AIR PEGUNUNGAN GUCI DENGAN METODE SPEKTROFOTOMETRI SERAPAN ATOM

Muchammad Ade Firmansyah, Sabikis, Pri Iswati Utami

Fakultas Farmasi Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. Raya Dukuhwaluh, PO BOX 202, Purwokerto 53182

ABSTRAK

Analisis cemaran logam Timbal telah dilakukan pada sampel mata air Pegunungan Guci, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah. Analisis kadar Timbal menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom dengan destruksi basah. Pengukuran dilakukan pada panjang gelombang 283 nm. Validasi metode analisis yang dilakukan meliputi uji akurasi, uji presisi, dan uji linearitas. Hasil uji Linieritas ($r = 0,9971$), hasil uji Presisi ($RSD\% = 3,89\%$), dan hasil uji Akurasi (Recovery $P\% = 93,12\%$). Berdasarkan hasil validasi metode yang dilakukan, analisis menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom memenuhi persyaratan validasi yang ditentukan. Batas Deteksi sebesar 0,104 ppm dan Batas Kuantitasi sebesar 0,347 ppm. Dari hasil analisis, kelima sampel mata air yang diambil dari tempat yang sering dilewati kendaraan bermotor di daerah Pegunungan Guci, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah yang diuji terdapat kandungan logam berat Timbal yang melampaui standar maksimal kandungan Timbal pada Standar Nasional Indonesia sebagai air yang dikonsumsi sebagai air minum. Hasil analisis cemaran rata-rata dari Sampel A sebesar 0,50 ppm, Sampel B sebesar 0,43 ppm, Sampel D sebesar 0,56 ppm, dan pada hasil kadar Sampel C dan E belum bisa ditetapkan kadarnya karena masih di bawah nilai Batas Kuantitasi untuk dapat memenuhi kriteria cermat dan seksama.

Kata Kunci : Timbal, mata air, destruksi basah, spektrofotometri serapan atom.

ABSTRACT

Analysis of lead heavy metal contamination was studied on the sample from Pure Water of Guci Mountain, Tegal Regency, Central Java. This analysis used Atomic Absorption Spectrophotometry method with wet destruction. The measuring used wave length 283 nm. The Validation of the method were accurate test, precision test, and linearity test. The result are linearity test ($r = 0.9971$), precision test ($RSD = 3.89\%$), and accuration test (Recovery $P\% = 93.12$). Based of the result so that the analysis with these method were qualified. Limit of detection are 0.104 ppm and Limit of Quantition are 0.347 ppm. Based on those validation, sample bought from the place that was many vahicles in Guci Mountain, Tegal Regency, Central Java contained the heavy metal over The Standar National Indonesia. The Contaminant were sample A 0.50 ppm, sample B 0.43 ppm, sample D 0.56 ppm.

The quantity of sample C and E have not been determinated well because they were less than Limit of Quantitation.

Keywords : *Lead metal, pure water, wet destruction, atomic absorption spectrophotometry*

Pendahuluan

Mata air yang dihasilkan Pegunungan Guci merupakan sumber mata air yang dipercaya oleh masyarakat sekitar aman untuk diminum, ada sebagian penduduk yang meminum air tersebut tanpa dimasak terlebih dahulu. Pemanfaatan air bagi kebutuhan air minum sudah barang tentu harus memenuhi standar kualitas kesehatan. Sumber daya air baru dapat dikatakan layak minum apabila unsur-unsur yang di kandunginya sudah memenuhi standar baku mutu air layak minum yang bebas dari mineral-mineral yang membahayakan bagi kesehatan manusia, selain itu perlu diketahui dari mana sumber air itu berasal. Air tersebut telah tercemar atau terkontaminasi oleh unsur-unsur logam berat atau tidak. Sumber daya air, baik yang berasal dari daratan (sungai, mata air, danau) tidaklah otomatis dapat di minum langsung tanpa dilakukan analisa unsur (Noor, 2006).

Persepsi masyarakat di daerah pegunungan Guci, air yang berasal dari mata air pegunungan Guci telah memenuhi syarat-syarat kesehatan yaitu air yang mereka minum tanpa memasaknya terlebih dahulu itu bersih dan jernih. Padahal hal tersebut tidak seratus persen benar, karena tingkat

polusi dari tahun ke tahun semakin tinggi yang salah satu penyebab polusinya adalah asap kendaraan bermotor. Pembuangan dari mesin bermotor tersebut yang tidak sempurna mengakibatkan logam berat yang terbang dalam asap kendaraan bermotor mencemari lingkungan baik udara, tanah, maupun air.

Penggunaan logam timbal dalam bahan bakar awalnya digunakan untuk meningkatkan nilai oktan bahan bakar. Penambahan logam timbal dalam bahan bakar dilakukan sejak tahun 1920-an oleh kalangan pengilangan minyak. Senyawa logam timbal berupa *Tetra Ethyl Lead* (TEL) dapat meningkatkan nilai oktan, selain itu senyawa ini berfungsi sebagai pelumas dudukan katup mobil (produksi di bawah tahun 1990-an) sehingga katup terjaga dari keausan, lebih awet, dan tahan lama. Penggunaan logam timbal dalam bensin memiliki tingkat sensitifitas yang tinggi dalam menaikkan nilai oktan. Setiap 0,1 gram logam timbal perliter bensin dapat menaikkan nilai oktan 1,5 sampai 2 satuan dan harga timbal relatif lebih murah untuk meningkatkan satu oktan dibandingkan dengan senyawa lainnya. Penggunaan logam timbal juga dapat menekan kebutuhan senyawa aromatik,

sehingga proses produksi relatif lebih murah dibandingkan memproduksi bensin tanpa logam timbal (Santi, 2001). Bensin "Premium" yang digunakan di Indonesia bernilai oktan 88 dengan kandungan logam timbal maksimal 0,45 gram per liter, sedangkan "Premix" bernilai oktan 94, yang merupakan campuran Premium serta 15 persen *Methyl Tertiary Butyl Ether* (MTBE). Kandungan timbal Premix dan Premium adalah sama (Santi, 2001).

Logam timbal pada bahan bakar bermanfaat pada mesin kendaraan, namun sisa pembakarannya membawa partikel logam timbal keluar dari knalpot kendaraan bersama asap yang sangat membahayakan kesehatan. Gas logam timbal yang bersal dari *Tetra Ethyl Lead* pada bensin mencemari udara dan bertahan di udara. Gas logam timbal tersebut lama-kelamaan akan turun ke permukaan tanah, air maupun tanaman yang ada di sekitar polusi (Fardiaz, 1992). Permasalahan yang timbul dari uraian tersebut yaitu apakah mata air yang ada di Pegunungan Guci telah tercemar logam berat timbal atau belum, yang berbahaya bila setiap hari dikonsumsi oleh masyarakat, sehingga perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan metode yang dapat

menganalisis logam timbal secara spesifik dan sesuai dengan sampel. Metode spektrofotometri serapan atom dapat digunakan untuk analisis kuantitatif unsur-unsur logam dalam jumlah yang sekelumit (*trace*) dan sangat kelumit (*ultratrace*) karena memiliki kepekaan yang tinggi (batas deteksi kurang dari 1 ppm), pelaksanaannya relatif sederhana dan intervensinya sedikit (Gandjar dan Rohman, 2007).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuktikan ada atau tidaknya cemaran logam berat Pb yang ada di dalam mata air di Pegunungan Guci dan untuk menguji validasi metode analisis logam Pb dengan metode spektrofotometri serapan atom.

Metode Penelitian

Bahan

Air yang diambil dari mata air radius 100 meter dari Lokawisata Guci, Kabupaten Tegal. Bahan kimia yang digunakan adalah bahan kimia berkualitas pro analisis (p.a) antara lain : Akuabidestilata (*Otsuka*), asam nitrat pekat (p.a) (*Merck*), Larutan standar timbal Pb (NO₃)₂ (p.a), Gas asetilen.

Alat

Spektrofotometer serapan atom Perkin Elmer 5100 PC, alat-alat gelas yang biasa digunakan di Laboratorium Analisis,

pemanas listrik, lemari asam, kertas saring *Whatman* 40.

Metode Penelitian

1. Pengambilan Bahan Uji

Mata air yang tidak tertutup atau terbuka di daerah yang sering dilewati oleh kendaraan bermotor, Kabupaten Tegal.

Pengambilan sampel dilakukan di empat mata arah angin, yaitu; timur, selatan, barat, dan utara dari Guci. Setiap arah mata angin diambil satu sampel, dimana sering dilewati oleh kendaraan bermotor.

2. Preparasi Sampel dengan Metode Destruksi Basah

Sampel air diambil sebanyak 100 mL kemudian dimasukkan dalam Erlenmeyer dengan ditambah dengan 10 mL HNO_3 pekat. Campuran dipanaskan perlahan-lahan sampai mendidih, Destruksi dihentikan setelah diperoleh larutan yang jernih, kemudian didinginkan. Setelah dingin disaring dengan kertas *Whatman* no.40, lalu sampel dimasukkan dalam labu takar 100 mL dan ditambahkan akuabidestilata sampai batas tanda.

3. Penyiapan Larutan Stok $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 10 ppm

Larutan standar $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1000 ppm diambil sebanyak 1 mL dimasukkan ke

dalam labu takar 100 mL, ditambahkan akuabidestilata sampai tanda batas sehingga didapat larutan standar $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 10 ppm.

4. Pembuatan seri standar

Larutan standar $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dibuat dengan seri kadar 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; dan 2,0 ppm. Larutan standar $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 10 ppm diambil 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 dan 2,0 mL dimasukkan ke dalam labu takar 10 mL diencerkan dengan akuabidestilata sampai batas maka didapat larutan standar $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ untuk kurva baku 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; dan 2,0 ppm atau setara dengan konsentrasi Pb 0,2501; 0,5003; 0,7504; 1,0006 dan 1,2507 ppm.

5. Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Kandungan logam Pb

Larutan uji dari hasil destruksi basah diukur serapannya pada alat SSA. Larutan uji diaspirasikan pada alat SSA dimana prosedur kerjanya meliputi :

Instrument dan komputer dinyalakan kemudian dicek kesiapan alat (lampu katoda, gas, tekanan detektor, pemanas, dll), dan buang kelebihan gas. Langkah berikutnya pompa kompresor dinyalakan, lalu larutan uji diaspirasikan. Apabila ada serapan yang terbaca pada panjang gelombang 283 nm, maka cuplikan tersebut positif mengandung timbal.

Untuk analisis kuantitatif, 5 seri konsentrasi standar yang telah dibuat diaspirasikan pada alat spektrofotometer serapan atom sehingga diperoleh persamaan kurva baku yaitu $y = bx + a$. Setelah itu cuplikan sebanyak 10 mL diaspirasikan ke dalam alat spektrofotometer serapan atom dan dibaca serapannya pada panjang gelombang 283 nm. Hasil pembacaan serapan dimasukkan ke persamaan kurva baku yang telah diperoleh.

Validasi Metode

1. Uji presisi alat

Larutan standar timbal nitrat dengan konsentrasi 1,2 ppm, diaspirasikan pada alat SSA, pekerjaan diulangi sebanyak 6 kali. Hasil serapan digunakan untuk menghitung absorbansi rata-rata dari percobaan yang dilakukan, harga SD (*Standard Deviation*), RSD (*Relative Standard Deviation*), dan ketelitian alat.

2. Uji akurasi metode

Diambil sampel air duplo yakni diambil 2 kali sebanyak 100 mL. Ditambahkan larutan stok Pb (NO_3)₂ 10 ppm sebanyak 12 mL ke salah satu sampel. Kemudian masing-masing sampel dimasukkan dalam Erlenmeyer ditambah dengan 10 mL HNO_3 pekat. Campuran dipanaskan perlahan-lahan sampai mendidih. Destruksi diteruskan sambil sewaktu-

waktu digoyang-goyang. Destruksi dihentikan setelah diperoleh larutan yang jernih, kemudian didinginkan. Setelah dingin disaring dengan kertas *Whatman* no. 40. Seluruh filtrat dimasukkan dalam labu takar 100 mL, diencerkan dengan akuabides sampai batas tanda. Larutan ini dapat diukur terhadap logam Pb dengan SSA. Pekerjaan dilakukan sebanyak 3 kali.

Hasil serapan digunakan untuk menghitung nilai perolehan kembali (*Recovery*), dan kesalahan sistematis. Nilai perolehan kembali dapat dihitung dengan persamaan

% Perolehan kembali =

$$\frac{\text{Kadar terukur}}{\text{Kadar Sebenarnya}} \times 100 \%$$

Kesalahan sistematis merupakan tolak ukur inakurasi penetapan kadar. Kesalahan ini dapat terjadi karena kesalahan pengukuran. Nilai kesalahan sistematis diperoleh dengan persamaan:

$$\text{Kesalahan sistematis} = 100 \% - P \%$$

Keterangan : P % = Harga perolehan kembali (*recovery*)

Nilai rata-rata perolehan kembali (*recovery*) analit antara 80-120% (Harmita, 2004).

3. Uji linieritas

Larutan Pb standar dengan seri kadar

0,2501; 0,5003; 0,7504; 1,0006 dan 1,2507 ppm diinjeksikan pada alat SSA. Hasil absorbansi digunakan untuk membuat kurva baku dan persamaan regresi linear, nilai intersep dan slope (kemiringan). Kurva baku yang diperoleh digunakan untuk mencari logam kadar Pb yang ada pada sampel. Apabila nilai r di antara 0,90 – 0,95 maka kurva dikatakan cukup linier, jika nilai r berada di antara 0,95 – 0,99 maka kurva dikatakan baik dan jika nilai r lebih dari 0,99 maka kurva dikatakan memiliki linieritas yang sangat baik (Christian, 1994).

4. Batas deteksi dan Batas kuantitasi
Batas deteksi dan kuantitasi dapat dihitung secara statistik melalui garis regresi linier dari kurva kalibrasi larutan

standar. Nilai pengukuran akan sama dengan nilai slope (b) pada persamaan garis linier $y = bx + a$, sedangkan simpangan baku blanko sama dengan simpangan baku residual (Sy/x) (Prabowo, 2009).

Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Uji Linieritas

Linieritas kurva baku dapat dilihat dari nilai koefisien korelasi (r) pada persamaan regresi linier. Persamaan regresi linier dihitung dari konsentrasi larutan standar Pb (mg/L) sebagai variabel x dan serapan sebagai variabel y sehingga akan didapatkan nilai intersep (a), *slope* (b) dan koefisien korelasi (r). Linieritas dapat diketahui melalui nilai r . Data serapan dari seri konsentrasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan Seri Konsentrasi dan Serapannya

Sampel	Standar Pb(NO ₃) ₂ (ppm)	Konversi Standar Pb (ppm)	Serapan
Seri I	0,4	0,2501	0,0005
Seri II	0,8	0,5003	0,0013
Seri III	1,2	0,7504	0,0027
Seri IV	1,6	1,0006	0,0038
Seri V	2,0	1,2507	0,0051

Persamaan Regresi Linier dari Seri Konsentrasi Larutan Standar Pb (x) vs Serapan (y):

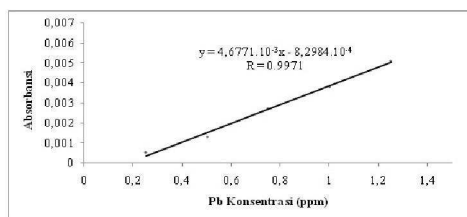
$$a = -8,2984 \times 10^{-4}$$

$$b = 4,6771 \times 10^{-3}$$

$$r = 0,9971$$

$$y = bx + a$$

$$y = 4,6771 \times 10^{-3}x - 8,2984 \times 10^{-4}$$



Gambar 1. Kurva baku dengan nilai koefisien korelasi yaitu sebesar 0,9971 (linieritas sangat baik)

B. Hasil Uji Presisi

Pada uji presisi digunakan larutan standar dengan konsentrasi 1,2 ppm yang diaspirasikan ke dalam alat Spektrofotometer Serapan Atom sebanyak 6 kali replikasi untuk mengetahui keseksamaan, dimana keseksamaan adalah ukuran yang menunjukkan derajat kesesuaian antara hasil uji individual, diukur melalui penyebaran hasil individual dari rata-rata jika prosedur diterapkan secara berulang pada sampel-sampel yang diambil dari campuran yang homogen.

Tabel 2. Data Hasil Uji Presisi

Replikasi	Serapan
1	0,0027
2	0,0027
3	0,0028
4	0,0025
5	0,0027
6	0,0026
\bar{x}	0,00266
SD	$1,0353 \times 10^{-4}$
RSD	3,89 %

Hasil absorbansi yang didapat digunakan untuk menghitung absorbansi rata-rata, standart deviation (SD), relative standart deviation (RSD) dan ketelitian alat.

Kriteria keseksamaan dinyatakan baik apabila nilai persen RSD $\leq 2\%$ atau $\leq 5\%$ (Gandjar, 2007). Berdasarkan data serapan uji presisi kemudian dilakukan perhitungan nilai RSD yang diperoleh pada penelitian sebesar 3,89 % yang menunjukkan bahwa metode yang digunakan ini mempunyai ketelitian yang baik sehingga metode ini layak digunakan dalam analisis logam. Hasil dari ketelitian alat yang didapat mendekati nilai mutlak yaitu sebesar 96,69 %.

C. Hasil Uji Akurasi

Akurasi atau kecermatan adalah ukuran yang menunjukkan derajat kedekatan hasil analisis dengan kadar analit yang sebenarnya. Kecermatan dinyatakan sebagai persen perolehan kembali (*recovery*) analit yang ditambahkan. Hasil serapan digunakan untuk menghitung nilai perolehan kembali (*recovery*) dan kesalahan sistematis. Kesalahan sistematis merupakan tolak ukur inakurasi penetapan kadar. Kesalahan ini dapat terjadi karena kesalahan pengukuran. Nilai rata-rata perolehan kembali (*recovery*) analit yang baik atau dapat dikatakan akurat antara 80-120 % (Harmita, 2004).

Tabel 3. Data Akurasi

Sampel Tanpa Penambahan Larutan Standar Pb (NO ₃) ₂ 10 ppm		Sampel dengan Penambahan Larutan Standar Pb (NO ₃) ₂ 10 ppm sebanyak 12 mL		%Recovery P(%)
Replikasi	Serapan	Replikasi	Serapan	
1	0,0006	1	0,0040	96,92
2	0,0005	2	0,0036	88,37
3	0,0006	3	0,0039	94,08
				279,37
				93,12
				4,35
				4,67

Dari hasil *recovery* dan kesalahan sistematis maka dapat membuktikan bahwa metode Spektrofotometri Serapan Atom untuk analisis cemaran logam Pb memiliki ketepatan dan validasi yang baik.

D. Batas Deteksi dan Batas Kuantitasi

Batas Deteksi atau *Limit of Detection* (LOD) adalah jumlah terkecil analit dalam sampel yang dapat dideteksi yang masih memberikan respon signifikan dibandingkan dengan blanko. Batas deteksi merupakan parameter uji batas. Batas Kuantitasi atau *Limit of Quantitation* (LOQ) merupakan parameter pada analisis sebagai kuantitas terkecil analit dalam sampel yang masih memenuhi kriteria cermat dan seksama.

Berdasarkan hasil perhitungan maka dapat dikatakan bahwa batas kadar

terendah yang masih menunjukkan respon jika dibandingkan dengan blanko pada analisis logam timbal dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom adalah sebesar 0,104 ppm dan konsentrasi terkecil logam timbal yang masih dapat diukur secara valid dengan menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom adalah sebesar 0,347 ppm.

E. Analisis Kuantitatif Cemaran Logam Timbal dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom.

Tabel 4. Kadar Cemaran Logam Timbal pada Sampel

Sampel	Replikasi	Serapan	Kadar Pb (ppm)	\bar{x}
A (Timor)	1	0,0016	0,5195	0,5052
	2	0,0017	0,5408	
	3	0,0013	0,4553	
B (Selatan)	1	0,0009	0,3698	0,4339
	2	0,0015	0,4981	
	3	0,0012	0,4339	
C (Barat)	1	0,0006	0,3057	0,2914
	2	0,0005	0,2843	
	3	0,0005	0,2843	
D (Utara)	1	0,0021	0,6264	0,5622
	2	0,0014	0,4767	
	3	0,0019	0,5836	
E (Random)	1	0,0004	0,2629	0,2700
	2	0,0004	0,2629	
	3	0,0005	0,2843	

Berdasarkan hasil data analisis, sampel mengandung logam berat timbal dan kadarnya melebihi standar maksimal

yang berlaku yaitu Standar Nasional Indonesia sebesar 0,05 mg/L atau 0,05 ppm. Kandungan logam timbal pada sampel A rata-rata sebesar 0,50 ppm, sampel B rata-rata mengandung sebesar 0,43 ppm, sampel D rata-rata mengandung 0,56 ppm. Kadar sampel C dan E belum dapat ditetapkan secara akurat karena masih dibawah nilai Batas Kuantitasi, dimana hasil tersebut belum dapat memenuhi kriteria cermat dan seksama.

Bahaya paparan cemaran logam timbal akan mengenai masyarakat dan lambat laun permasalahan kesehatan akan muncul dan akibatnya sangat fatal. Pencemaran ini tidak semata-mata oleh pembuangan gas dari kendaraan bermotor saja, akan tetapi banyak faktor yang menyebabkan cemaran logam ini seperti proses pembakaran bahan bakar fosil untuk pemanasan rumah tangga, pembuangan limbah padat dengan pembakaran (Yusad, 2003).

Manusia bila tercemar oleh Pb yang berlangsung dalam jangka waktu yang lama (kronis) dapat mengganggu kesehatan, menurunkan kemampuan belajar, dan Pb dapat menghambat sistem pembentukan Hb dalam darah merah, sumsum tulang, merusak fungsi hati dan ginjal dan penyebab kerusakan

syaraf (Lubis, 2006).

Jika pada mata air khususnya pada mata air pegunungan Guci yang dianalisis kadar timbalnya sudah melampaui standar, maka begitu pula dengan pencemaran logam timbal yang ada di udara yang berhubungan langsung dengan tubuh manusia. Hal ini perlu adanya penanganan lebih lanjut dari pihak yang terkait agar pencemaran tidak semakin memburuk.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa sampel air yang didapat dari mata air Pegunungan Guci, Kabupaten Tegal dengan radius 100 meter dari Lokawisata Guci mengandung cemaran logam Timbal dimana kadarnya melebihi standar maksimal yang berlaku yaitu Standar Nasional Indonesia sebesar 0,05 mg/L atau 0,05 ppm sebagai air yang dikonsumsi sebagai air minum. Hasil validasi analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa metode Spektrofotometri Serapan Atom dapat digunakan untuk menganalisis logam Timbal.

Daftar Pustaka

- Christian, G. D. 1994. *Analytical Chemistry 5th Edition*. New York: John Willey & Sons, Inc
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius
- Gandjar, I.G dan Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Universitas Gajah Mada.
- Harmita. 2004. *Petunjuk Pelaksanaan Validasi Metode dan Cara Perhitungannya*. Majalah Ilmu Kefarmasian, Vol. 1
- Lubis, E. 2006. *Pelacakan Sumber Pencemaran Timbal (Pb) di Serpong*. Buletin Limbah: Batan
- Noor, D. 2006. *Geologi Lingkungan*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Prabowo, M. H, dkk. 2009. *Pengembangan dan Validasi Metode Analisis. Campuran Fe dan Pb Pada Daging Sapi Kalengan dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom*. Kongres Ilmiah ISFI XVII
- Santi, D. N. 2001. *Pencemaran Udara oleh Timbal (Pb) serta Penanggulangannya*. Medan: USU-Press
- Yusad, Y. 2003. *Polusi Udara Dikota-kota Besar Dunia*. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatra Utara.